Kieselpflanzen auf Kalkboden.
Kulturversuche zur Pflanzengeographie.

Von

M. Büsgen.

Mit Taf. X u. XI.

Seit einigen Jahren sind im botanischen Garten der Forstakademie Hannoverisch-Münden Versuche im Gange, welche Material zur Lösung der Frage liefern sollen, warum gewisse Pflanzen in der Natur Kalkboden meiden. Die einschlägige Literatur ist zwar sehr reichhaltig, es liegen aber bisher so wenig experimentell gewonnene Ergebnisse vor, daß ein kleiner Beitrag, wenn auch vielleicht nur der Abbildungen wegen, nicht überflüssig sein wird.

Seit Unger 1836 in seiner Schrift »Über den Einfluß des Bodens auf die Verteilung der Gewächse, nachgewiesen in der Vegetation des nordöstlichen Tirols« die Kategorien der bodensteten, bodenvagen und bodenholden Pflanzen aufstellte, haben Floristen, Pflanzengeographen und praktisch an der Pflanzenzucht beteiligte Beobachter durch eine Fülle von Erfahrungen unsere Kenntnis von der tatsächlichen Verteilung der Pflanzen nach den Bodenarten weit gefördert. Unser Wissen aber von den Umständen, welche eine Pflanze an eine bestimmte geognostische Unterlage fesseln oder von einer anderen fernhalten, ist noch außerordentlich lückenhaft. Unter anderem wird die Schwierigkeit dieses Problems dadurch ins Licht gesetzt, daß es bis heute kaum möglich gewesen ist, eine zuverlässige Liste von Pflanzen aufzustellen, die überall und unter allen Umständen Kalkboden meiden oder anderseits von solchen, die stets nur auf Kalkboden vorkommen. Pflanzen, die in einem bestimmten Florengebiet kalkstet sind, erweisen sich in einem anderen als bodenvag, und in einer Gegend kalkfeindliche Pflanzen werden in einer anderen auf Kalk gefunden. Einer der Faktoren, die hier eine Rolle spielen, sind sicher die Konkurrenzverhältnisse. Es ist bekannt, daß man Pflanzen, die in der Natur kalkstet sind, im Garten ziehen kann, ohne ihnen mehr als den gewöhnlichen Kalkgehalt normaler Böden zu liefern. Auf Böden ähnlicher Art würden sie in der Natur von bedürfnisloseren, raschwüchsigeren, reichlicher fruchtenden, sich vegetativ leicht ausbreitenden oder den Boden für andere Gewächse ungünstig beeinflussenden Konkurrenten verdrängt werden. An solchen Pflanzen ist

auf den sogenannten Kieselböden, die gewöhnlich in Gegensatz zu den Kalkböden gebracht werden, kein Mangel. *Calluna vulgaris*, *Vaccinium myrtillus* und *Vaccinium vitis idaea*, *Pteridium aquilinum*, *Hieracium pilosella*, *Sarothamnus scoparius* sind wohl imstande, mancher Pflanze von ähnlichen Bedürfnissen auf kalkarmem Boden die Existenz zu verleiden. Kerner gibt in den Abhandlungen der Zool.-Bot. Gesellschaft in Wien (vol. XIII, 1863) eine lange Reihe von Paaren nahverwandter Pflanzen an, deren Glieder auf verschiedenen Böden einander vertreten, und Nägeli (Sitzber. d. Kgl. Bayr. Akad. 1865, S. 367) erklärt dies an dem Paar *Achillea moschata* und *Achillea atrata* aus der Konkurrenz dieser einander sehr ähnlichen Arten. *Achillea atrata* ist, wo beide zusammen vorkommen, kalkstet, *Achillea moschata* auf kalkarme Schiefertrümmer beschränkt. Wo aber diese letztere Art vor Verdrängung durch *A. atrata* geschützt ist, gedeiht sie auch auf Kalk. Kraus (Boden und Klima auf kleinstem Raum, Jena 1911) fand in der Muschelkalkgegend des Maintals bei Würzburg *Pulsatilla* und *Hippocrepis comosa*, die sonst als Kalkpflanzen gelten, auf einem aus kalkfreiem Buntsandsteinbauschutt gebildeten kleinen Hügel. Vermutlich vermochten sie dort zu leben, weil zufällig *Calluna*, *Sarothamnus* usw. sich dort nicht angesiedelt hatten.

Das Fehlen von Pflanzen wie *Calluna*, *Sarothamnus*, *Vaccinium myrtillus* und *Pteridium aquilinum* auf Kalkboden ist nicht einfach aus den Konkurrenzverhältnissen zu erklären, da mancher Kalkstandort keine geschlossene Vegetationsdecke trägt und somit Platz genug für jene Gewächse vorhanden wäre. Eher kann man an die ungeeigneten physikalischen Bedingungen denken, die z. B. der mitteldeutsche Muschelkalkboden in seinem bald leicht beweglichen, bald stark bindigen und schwer zu durchdringenden Material bietet. Sie sind sicher in vielen Fällen für Kalkfeindschaft maßgebend. Wie so oft darf aber nicht eine einzige Ursache für das Verhalten der so verschiedenartigen Kalkfeinde angenommen werden. Schimper vertritt in seiner Pflanzengeographie mit Entschiedenheit den Standpunkt, daß es chemische Einflüsse seien, welche die sogenannten Kieselpflanzen vom Kalkboden fernhalten, und stützt sich dabei namentlich auf das Verhalten von Wasserpflanzen (Moose, Algen), die kalkhaltiges Wasser nicht vertragen, obwohl es keine anderen physikalischen Bedingungen bietet wie Wasser überhaupt.

Die eingehendsten Untersuchungen über das Verhalten der Torfmoose zu kalkhaltigen Lösungen hat Paul[1]) angestellt. Er fand, daß die Sphagnumarten der Hochmoore schon in verhältnismäßig verdünnten Kalklösungen aufhören zu wachsen, während die Arten des moorigen Waldbodens und der Flachmoore mehr Kalk vertragen. Paul gibt folgende Tabelle, aus

1) Die Kalkfeindlichkeit der *Sphagna* und ihre Ursache usw. Mitt. d. K. bayr. Moorkulturanstalt, Heft 2. Stuttgart (Ulmer) 1908, S. 63—117. Hier weitere Literatur.

der auch die Beziehungen der Kalkfeindschaft zum Säuregehalt der Arten ersichtlich sind (s. unten).

Sphagnum-Art	1 g Sphagnum (wasserfrei) stirbt ab bei $CaCO_3$ mg	Auf 1 mg Säurewasserstoff sind nötig zum Absterben $CaCO_3$ mg	In 100 Teilen Trockensubstanz sind Säurewasserstoff %	Vorkommen der Art
rubellum	62,55	52,1	0,120	Hochmoor
medium	59,93	57,6	0,104	»
papillosum . . .	60,02	59,4	0,101	»
molluscum . . .	69,51	70,9	0,098	»
fuscum	68,80	71,7	0,096	»
cuspidatum . .	75,18	80,8	0,093	»
acutifolium H. .	78,33	87,0	0,090	»
acutifolium W. .	92,71	111,7	0,083	Moorwald
cymbifolium . .	125,15	145,0	0,086	»
Girgensohnii . .	121,33	153,6	0,079	»
recurvum . . .	126,48	166,4	0,076	»
teres	172,00	168,6	0,102	Flachmoor
contortum . . .	155,25	191,6	0,081	»
parvifolium . .	185,47	250,6	0,074	Hochmoorran
platyphyllum . .	321,98	536,6	0,060	Flachmoor

Für Landpflanzen liegen Erfahrungen aus botanischen Gärten vor, die in Kalkgebieten gelegen sind. So war es z. B., wie mir Herr Geheimrat Stahl mitteilte, im Garten der Universität Jena im thüringischen Muschelkalk, um *Sarothamnus scoparius* zu erhalten, notwendig, für diese Pflanze ein besonderes Sandbeet einzurichten. G. Kraus (a. a. O.) fand, daß unter einer größeren Anzahl sogenannter Kieselpflanzen nur *Sarothamnus scoparius* sowohl im wilden Zustand wie im Garten den Kalk ablehnte. *Pteridium aquilinum* und *Teucrium Scorodonia*, die im Freien auf Kalk nicht vorkommen, ließen sich auf Kalkboden erziehen. *Helichrysum arenarium* fand Kraus neben ausgesprochenen Kalkpflanzen auf Boden mit 14—17 % Kalk und *Calluna vulgaris* und *Vaccinium myrtillus* bei einem Kalkgehalt des Bodens von 3—4 %. Aus eigener Erfahrung kann ich zufügen, daß im Garten *Pteridium aquilinum* und auch *Teesdalia nudicaulis*, eine spezifische Sandpflanze, auf Muschelkalk inmitten kalkreicher Erde gut gedeihen können.

Die Weinbauer[1]) wissen, daß die amerikanischen Reben auf Kalkböden sich nicht gut entwickeln, den Landwirten ist die Kalkfeindlichkeit mancher, aber nicht aller, Lupinenarten bekannt, Baumzüchter endlich teilen mit, daß *Castanea vesca* und *Pinus maritima* durch Kalkgehalt des Bodens ge-

1) S. auch: Molz, Chlorose d. Reben. Centralbl. f. Bacteriologie u. Parasitenkunde 1907; Hollrung, Chlorose i. Versuchsweinberg Zscheiplitz. Landwirtschaftl. Jahrb. 1908.

schädigt werden. Namentlich die auf diese Bäume bezüglichen Erfahrungen von Fliche und Grandeau aus dem Gehölz von Champfetu im Departement Yonne sind viel zitiert worden[1]).

Weniger bekannt sind Mitteilungen von Piccioli[2]), wonach *Castanea vesca* auf Boden mit 2,6 % Kalk gedeiht, auf reinem Kalkboden aber so wenig, daß im dritten Jahr nach der Anpflanzung von 5000 Pflänzlingen keiner mehr vorhanden war. In Boden mit 8 % Kalk soll *Castanea* zugrunde gehen, falls nicht ein Überschuß von Kali der Pflanze mehr Kalk erträglich macht. In Glasröhren, welche oben eine Schicht mit 1 % Kalk enthielten, gediehen Keimlinge, bis ihre Wurzeln in die tieferen, 8 % Kalk enthaltenden Substratschichten eindrangen. Dann gingen sie zugrunde. Von Hegi (Ill. Flora von Mitteleuropa, Lief. 23, München, Lehmann) zitierte Angaben über Vorkommen des Baumes auf Kalk der Kreideformation erklären sich, soweit sie nicht etwa auf Einschaltung kleinerer kalkarmer Stellen beruhen und sich auf wirklich gut gedeihende Bäume beziehen, vielleicht aus dem Vorhandensein einer kalkertragenden Rasse, wie solche z. B. auch für *Pinus uncinata*, deren Kalkrasse trockene Standorte bewohnt, während die kalkfeindliche Form trockene Standorte flieht und nur in Mooren vorkommt (Schimper, a. a. O., S. 116), bekannt geworden ist.

Die umfänglichsten Kulturversuche mit dem ausgesprochenen Zweck, das Verhalten von Kieselpflanzen auf Kalkboden zu studieren, hat wohl Roux[3]) angestellt. Er zog aus Samen in Bodenmischungen, die aus Gneiserde mit Beimischung von etwas Heideerde und von wechselnden Mengen von Molassekalk bestanden und 2,26—32,50 % und mehr Kalk enthielten, *Teesdalia nudicaulis*, *Hypericum humifusum* und *pulchrum*, *Orobus tuberosus*, *Trifolium arvense*, *Lupinus polyphyllus*, *Ornithopus perpusillus* und *sativus*, *Scleranthus perennis*, *Jasione montana* und *perennis*, *Galeopsis ochroleuca* und *Digitalis purpurea*. Ein Teil derselben Pflanzen nebst *Roripa pyrenaica* (Cruciferen), *Scleranthus annuus*, *Anarrhinum bellidifolium*, *Filago arvensis* und *minima* wurden aus anderem Boden in die kalkhaltige Erde umgepflanzt.

In den Bodenproben mit 6 % Kalk machte sich, namentlich bei *Orobus tuberosus*, *Lupinus polyphyllus* und *Digitalis purpurea* eine allgemeine Schwäche der Pflanzen bemerklich. In einer tonig-kalkigen Erde mit 15 % Kalk ging *Digitalis* während zweier Monate nach der Keimung ein. Bei 20 % Kalk verschwanden *Lupinus*, *Orobus*, *Teesdalia*, *Ornithopus*, *Scle-*

1) Ann. d. chimie et de physique sér. V, t. II. Paris 1874 (*Castanea vesca*); ib. sér. IV, t. XXIX. Paris 1873 (*Pinus maritima*).

2) Le staz. sperim. agrar. ital. vol. XXXIV. p. 745—768 cit. n. Bot. Jahresbericht 1901, II. p. 141.

3) Traité historique critique et expérimental des rapports des plantes avec le sol et de la chlorose végétale. Montpellier und Paris (Masson et Cie) 1900. Hier eine sehr reichhaltige Literaturzusammenstellung.

ranthus und *Hypericum pulchrum*. *Jasione montana* und *Hypericum humifusum* waren äußerst schwach. In Boden mit 32 % Kalk erhielten sich *Digitalis purpurea*, *Hypericum humifusum* und *Ornithopus sativus*. In Bodenproben mit 50,75 % Kalk und mehr keimten alle Samen, aber die Keimlinge starben nach wenigen Tagen ab. Diejenigen, welche zur Ausbildung einiger Blätter gelangten (*Orobus*, *Jasione*, *Ornithopus sativus*) waren stark chlorotisch. Die verpflanzten Exemplare ertrugen den Kalk besser als die Keimlinge. In einem Boden mittleren Kalkgehaltes vegetierten sie längere Zeit, freilich meist ohne merklich zu wachsen. Die meisten Pflanzen gingen zugrunde, ohne sich der ungewohnten Unterlage anzupassen. Am besten widerstanden *Roripa pyrenaica* und *Galeopsis ochroleuca*. An äußeren Veränderungen fiel an den Versuchspflanzen mehrfach Chlorose, Verkleinerung der Blätter und die Bildung langer, dünner Wurzeln auf. In manchen Fällen blieben die Kotyledonen abnorm lange am Leben, worin Roux ein Zeichen mangelhafter Stoffwanderung erblickt. Bei der Lupine war die Entwicklung der Knöllchen im Kalkboden spärlich, bei *Jasione* entwickelte sich statt der Pfahlwurzel ein buschiges Wurzelwerk. Unter den umgepflanzten Exemplaren fiel bei der *Galeopsis* auf, daß umgekehrt im Kalkboden die Wurzeln kurz, zahlreich und dünn, im Sandboden stark und lang wurden. Sowohl bei den Keimlingen wie bei den umgepflanzten Stöcken schienen im Kalkboden die Saugwurzeln weniger entwickelt zu sein als im Kieselboden. Histologische Unterschiede der Wurzeln waren wenig deutlich; nur daß bei gleich starken Wurzeln im Kalk die Holzbündel stärker entwickelt waren. Wurzelrinde und Wurzelmark waren reduziert; der Inhalt der Parenchymzellen erschien ärmer an Stärke. Im ganzen könnten also die Reservestoffbehälter weniger entwickelt gewesen sein. Der Verfasser legt aber selbst auf diese Erscheinungen weniger Gewicht. Reduktion der Reservestoffbehälter neben Verkürzung des Rhizoms bei Vermehrung der Wurzeln gibt Maskleff[1]) für *Pteridium aquilinum* auf Kalk an. Es ist indessen bei der großen Wandelbarkeit der Wurzeln zweifelhaft, ob die angeführten Erscheinungen dem chemischen Einfluß des Kalks zuzuschreiben sind oder nicht vielmehr der verschiedenen physikalischen Beschaffenheit der Versuchs- bzw. Beobachtungsböden. Als sicherste spezifische Wirkung des Kalkes ist wohl die Chlorose anzusehen. Mit der Licht-Chlorose hat diese Kalk-Chlorose nichts zu tun. Leider fehlen, abgesehen von gelegentlichen Beobachtungen, die Unterlagen dazu, sie mit der Eisen-Chlorose in Beziehung zu bringen. Auch eine Beziehung zwischen dem Kalk und dem Magnesiumgehalt des Chlorophylls wäre denkbar.

Unsere Mündener Beobachtungen beziehen sich in erster Linie auf *Sarothamnus scoparius*, *Digitalis purpurea* und *Calluna vulgaris*. Alle drei Pflanzen sind ihrem Vorkommen in der Natur nach als kalkfeindlich

---

1) cit. b. Roux.

angesprochen worden. Contejean (Geographie bot. Paris 1881, p. 79) gibt an, daß *Sarothamnus* höchstens 2—3 % Kalk verträgt. Russel[1]) aber fand die Pflanze im Dep. Seine et Oise auf sandigem Mergel mit vielen zerreibbaren Kalkkörnchen und einem Kalkgehalt von etwa 6,833 % in Gesellschaft echter Kalkpflanzen, wie *Ophrys aranifera* und *Hippocrepis comosa*, und Pflanzen tonreichen Bodens, wie *Tussilago farfara* und *Inula conyza*. Die Sträucher waren meist kräftig und überschritten z. T. die Höhe von 1,50 m. Nur ihre Farbe erschien etwas blasser als die der *Sarothamnus*-Exemplare auf dem Kieselboden der Umgebung. Chlorose war nur an wenigen Sprossen vorhanden. Unter den nicht chlorotischen Pflanzen war der Boden rot und also eisenreich, während unter denen, die Vergilbungserscheinungen erkennen ließen, Eisensalze in geringer Quantität vorhanden waren. Ob indessen durch Eisen eine schädliche Wirkung des Kalkes aufgehoben werden kann oder Kalk einen geringen Eisengehalt im Boden für die Pflanze unwirksam macht und so die Kalkchlorose zustande kommt, ist aus den vorliegenden Daten nicht zu entnehmen. Kurmann[2]) konnte in Tiroler Weinbergen auf Kalk die Chlorose nicht durch Eisensulfat heilen. Über *Calluna vulgaris* liegen Mitteilungen von Fliche und Grandeau vor (Ann. de la soc. agronomique, Nancy 1885. Ref. in Bull. soc. bot. de France. 1885. IIe sér., t. VII), welche Autoren sie an den verschiedensten Standorten auf Boden mit nur 0,05—0,62 % Kalkkarbonat fanden. Fliche (Revue des eaux et forêts. 1889. Ref. Bull. soc. bot. de France XXXVII. 1890, p. 107) nennt *Calluna* und *Erica cinerea* kalkfeindlich, *Erica multiflora* kalkhold. Daß G. Kraus *Calluna vulgaris* auf Boden mit 3—4 % Kalk fand, wurde oben schon angegeben.

Unsere Mündener Erfahrungen erstrecken sich einmal auf Kulturen in zwei Versuchsbeeten, deren eins bis zur Tiefe von 0,5 m aus Quarzsand bestand, während das andere in derselben Mächtigkeit bröckeligen und ziemlich tonreichen Muschelkalk (Wellenkalk) enthielt. Weiter wurden Kulturen in Tonschalen angelegt, die etwa 5 cm tief waren bei etwa 20 cm Durchmesser. In der Absicht, die Bodenproben physikalisch möglichst gleich zu machen, wurden sie mit feiner Komposterde (Humus) beschickt, der im einen Falle Quarz-, im anderen Kalkkörnchen von genau gleicher Größe beigemischt waren. Die Zusammensetzung der Proben war:

1) 1 Humus + 1 Sand { a. Korngröße 3/4—1 mm; b. » 1—2 mm }

2) 1 » + 1 Kalk von denselben Korngrößen.

Der Kalkgehalt der Proben 1) betrug, nach CO_2-Bestimmungen mit dem Apparat von Passon (Fritz Tiessen, Breslau), weniger als 1 %, der der

1) Observations sur les Genêts à balais adaptés à un sol calcaire. Bull. de la soc. bot. d. France, t. 55. IV. sér. t. VIII. 1908, p. 96.

2) cit. n. Roux l. c. p. 370.

Bodenproben 2) über 40 %. Die Annahme, daß diese Bodenproben physikalisch sich gleich verhalten würden, erwies sich bald als nicht zutreffend. Wenn die Bewässerung nicht sorgfältig ausgeführt wurde, bildete sich auf der gekalkten Erde eine Kruste, die, ganz abgesehen von den chemischen Eigenschaften des Kalkes, die Außenbedingungen für die betreffenden Kulturen im ungünstigen Sinne veränderte. Auch erwiesen sich die Kalkschalen der Entwicklung von Lebermoosen *(Lunularia)* günstig. Anderseits waren die sandreichen Schalen dem Vertrocknen mehr ausgesetzt.

Am 10. April 1907 wurden zwei Schalen reichlich mit Samen von *Sarothamnus* beschickt (Fig. 1 *c*, *d*). Die Samen gingen gut auf und die Keimlinge sahen zunächst überall gut aus. In der gekalkten Erde aber machte sich mit dem Auftreten der Laubblätter Vergilbung bemerkbar, ohne daß zunächst Absterben eintrat. Am 15. Juni 1909 aber befanden sich in der gekalkten Erde nur noch 24, in dem Sandboden dagegen noch 81 lebende Pflanzen. Die ersteren waren gelblich oder hellgrün und arm- bzw. kleinblätterig; die letzteren »freudig grün« und gut beblättert. Im Kalkboden hatten 7 Pflanzen 8 cm Höhe und darüber erreicht bis zu einem Maximum von 17 cm. Von den 81 Pflanzen des Sandbodens waren 42 Pflanzen 8 cm und darüber lang, 19 hatten eine Länge von 12 cm und mehr. Das Maximum betrug 17,5 cm. In neuen Schalenkulturen von 1911 fanden sich in den Kalkschalen am 25. Oktober genannten Jahres 31 Pflanzen, von denen 6 die Länge von 3 cm, nur 4 die Länge von 5 cm erreichten. In den Sandschalen waren 53 Pflanzen übrig geblieben, von denen trotz der größeren Konkurrenz 24 die Länge von 5 cm überschritten, 11 mehr als 10 cm erreichten und 2 Pflanzen je 20 cm, eine 30 cm lang wurden. Im Herbst 1907 aus den Schalen einzeln in Töpfe versetzte Pflanzen erreichten im Kalkboden 54 cm, 61 cm und 98 cm Höhe, im Sandboden, dessen Pflanzen wiederum tiefer grün waren, 67 cm, 103,5 cm und 124 cm. Die Abbildungen der Tafel 1, Fig. *c* und *d*, geben den Anblick wieder, den gleichalterige Schalenkulturen am 29. Juni 1900 boten. Die Sandpflanzen sind durchweg höher und mit größeren Blättern versehen als die Kalkpflanzen. Wurzelknöllchen fehlen den Kalkpflanzen nicht, sind aber bei den Sandpflanzen größer und zahlreicher. Bemerkenswert ist vielleicht noch, daß die Kotyledonen der Kalkpflanzen dunkle Flecke bekamen, in denen sich Pilzhyphen erkennen ließen. Danach sind sie dem Angriff eines Pilzes zugänglicher gewesen als die gesunden Kotyledonen der Sandpflanzen.

Der Verlauf der Beetkulturen, die im Mai 1905 eingerichtet wurden, war folgender: Ende Juli waren die Pflanzen auf dem Sandbeet höher, kräftiger und reicher verzweigt als auf dem Kalkbeet; nach etwa 2 Jahren standen auf dem Sandbeet zahlreiche starke Pflanzen von mehr als Mannshöhe und mit einem maximalen Sproßdurchmesser von 3 cm. Das stärkste Exemplar des Kalkbodens reichte nur bis Brusthöhe bei einem Stammdurchmesser von nur 1 cm. 1910 waren die wenigen überlebenden Pflanzen

des Kalkbeetes über und über mit Blüten bedeckt, während die Sandpflanzen nicht blühten. 1911 hatten die Sandpflanzen die anderen weit überwachsen und blühten reichlich und früher. Später blühten auch die Kalkpflanzen reichlich in auffallend kompakten Blütengruppen. Nach der Blütezeit trieben sie vegetative Zweige, welche den vorher vorhandenen Höhenunterschied der Pflanzen beider Beete ausglichen.

Die Abbildungen der Tafel stellen diese Verhältnisse dar. Die Blüten fanden sich bei den Kalkpflanzen einzeln oder in kurzen Trauben in den Blattachseln, gegen das Ende der Zweige hin gehäuft. Die Sprossen, welche das während der Blütezeit anscheinend sistierte Längenwachstum später fortsetzten, entwickelten sich unterhalb der Blütenregion oder in der Blütenregion selbst im unteren Teil der Trauben. Die Früchte waren gekrümmt und im Durchschnitt etwas über 4 cm lang bei einem Maximum von 5 cm, einem Minimum von 3,3 cm. Die Früchte der Sandpflanzen saßen in lockerer Anordnung einzeln in den Blattachseln, übergipfelt von einem am Grunde des Blütenstiels entspringenden Sproß, der nach Wigand's Meinung (Der Baum, Braunschweig 1854) aus der Achsel des untersten Niederblattes am Grunde des Blütenstieles entspringt. Die Länge dieser Früchte, welche keine oder nur geringe Krümmung zeigten, betrug im Durchschnitt etwas unter 3 cm (im Maximum 3,9 cm, im Minimum 2,2 cm). Die Figuren lassen den großen Unterschied in der Fruchtform gut erkennen. Ähnliches ist auch bei *Robinia pseudacacia* wahrgenommen worden, deren Hülsen auf kalkarmem Boden aber länger und breiter, dabei von hellerer Färbung geworden sein sollen als auf Kalk[1]). Die Blätter der Blütenregion der Kalkpflanzen erschienen schmäler als die entsprechenden Sprosse der Sandpflanzen, doch ist bei der Mannigfaltigkeit der Blattformen bei *Sarothamnus* dem nicht viel Gewicht beizulegen. Sowohl im Kalk- wie im Sandbeet hatte *Sarothamnus* eine kräftige Pfahlwurzel mit starken, horizontal abgehenden Seitenwurzeln entwickelt und gerade die stärksten Seitenwurzeln der Kalkpflanze verliefen meterweit im Kalk. Im Sand wurde neben starken Seitenwurzeln eine größere Zahl dünner Würzelchen erzeugt, so daß das Wurzelwerk der Sandpflanzen reichlicher verzweigt aussah. In beiderlei Wurzelsystemen waren wohlausgebildete taschenförmige Wurzelknöllchen vorhanden. Wurzelhaare waren im Kalkboden vielleicht reichlicher gebildet als im Sandboden und dicht von Kalk umgeben, der sich bei Zusatz von Essigsäure unter Aufbrausen löste. An Querschnitten stärkerer und schwächerer Wurzeln der Beetpflanzen wie der Pflanzen aus den Schalenkulturen trat deutlich ein größerer Reichtum weiter Gefäße in den im Kalk gewachsenen Wurzeln hervor (siehe die Text-

---

1) Fliche u. Grandeau l. c. sér. V. t. 18, 1879. Vergl. auch die physiognomischen Unterschiede von *Ononis natrix*-Exemplaren, je nach ihrem Vorkommen auf Kalk oder auf kalkarmem Boden. (Bonnier, Bull. de la soc. bot. de France, t. 41, p. 59, 1894, cit. n. Schimper, Pflanzengeographie S. 129.)

figuren 1 u. 2). Im Zusammenhang damit steht der größere Reichtum der Sandwurzeln an Stärke, die indessen den Kalkwurzeln keineswegs fehlte.

Ich möchte in den habituellen und anatomischen Eigenheiten des *Sarothamnus* auf Kalk keine spezifisch chemische Kalkwirkung sehen. Sie sind der Ausdruck eines besonderen Zustandes der Pflanzen, der von der Gesamtheit der Standortsfaktoren abhängt, deren Analyse weiteren Kulturversuchen vorbehalten bleiben muß. Es bestärkt mich darin die Beobachtung, daß in diesem Jahre (1913) ein *Sarothamnus*-Exemplar des Sandbeetes ganz ähnliche gekrümmte Früchte entwickelt hat, wie sie in der Abbildung Taf. X für eine Pflanze des Kalkbeetes dargestellt sind. In der Mündener Umgebung habe ich diese Fruchtform bisher nicht gefunden. Die noch übrige Kalkpflanze hat sich nicht mehr vergrößert und blühte wieder später als die Sandpflanzen und in denselben kompakten Blütengruppen wie 1911.

Aus der Gesamtheit der mitgeteilten Beobachtungen ergibt sich, daß *Sarothamnus scoparius* auf einem kalkreichen Boden wohl zu wachsen und zu blühen und fruchten vermag, daß er aber in seiner Jugend eine Periode der Schwächung durchzumachen hat, welche, wenn die geringste anderweitige Schädigung hinzukommt, ihn erliegen läßt. Die Schwächung ist mit einer Chlorose verbunden, die man ihres in so vielen Fällen beobachteten Auftretens halber wohl Kalkchlorose nennen darf. Wie diese Erscheinung zustande kommt, ist hier nicht zu erörtern. Obiges Ergebnis stimmt mit allem, was mir vom Auftreten des *Sarothamnus* in der Natur bekannt geworden ist, überein. Aus verschiedenen Gegenden Preußens sind mir Bodenproben von Örtlichkeiten zugegangen, an denen *Sarothamnus* auf Kalk gedeihen sollte. Nur in zwei von neun Fällen fand Herr Professor Ehrenberg, der die Güte hatte, die Proben chemisch zu untersuchen, starken Karbonatgehalt. In einer derselben war viel Eisen vorhanden (vgl. Roux). Alle anderen Proben ergaben kein oder nur eine Spur Karbonat. Es müssen also auch hiernach besonders günstige Umstände zusammentreffen, wenn der Pflanze die Existenz auf Kalkboden möglich sein soll.

Unter denselben Bedingungen ausgeführte Kulturversuche mit *Digitalis purpurea* ergaben ganz ähnliche Resultate. Wie verschieden Keimlinge in Schalenkulturen mit gekalktem oder mit Sand versetztem Humus aussehen können, zeigen die Abbildungen *a* und *b* der Tafel 1. Später aber kann eine Erholung der Pflanzen auf Kalk eintreten. Am Schluß des Versuchsjahres (26. Oktober 1907) standen die Keimlinge auf Kalk wie auf Sand gleich gut. Die sechs besten Pflanzen jeder Schale wurden herausgenommen und zu je wenigen in Töpfe oder Schalen mit denselben Bodenarten verpflanzt. Diese Exemplare gediehen sehr ungleich und ließen keinen durchgehenden Unterschied je nach dem Kalk- oder Sandgehalt ihres Bodens erkennen. Auf beiden Böden waren einige chlorotische und einige gesunde Pflanzen. Im Freien überwinterte Pflanzen blühten sowohl auf dem Kalk

wie auf dem Sand. Immerhin waren unter den Pflanzen der Schalenkulturen im Juni nach der Überwinterung im Gewächshaus von den Kalkpflanzen nur noch 27, von den Sandpflanzen dagegen 39 Pflanzen übrig. In beiden Gruppen befanden sich kräftige und schwache Exemplare. Entschiedenere Resultate ergaben Beetkulturen. Am 30. April 1907 ausgesäte Samen gingen gut auf und ergaben am 28. Oktober 1907 auf dem Sandbeet reichlich starke Keimlinge mit Blattlängen bis zu 10 cm, auf dem Kalkbeet durchweg kleinere Pflanzen mit Blattlängen bis zu 6 cm. An im Mai 1905 angelegten Beetkulturen war im Juli desselben Jahres noch kein Unterschied zwischen Sand- und Kalkpflanzen zu bemerken. Am 26. Juli des folgenden Jahres aber zeigten sich die Sandpflanzen wesentlich größer als die Kalkpflanzen. Die Längen der Exemplare waren, nach fallenden Ziffern geordnet, die folgenden:

Längen der Pflanzen	
Sandbeet	94, 90, 90, 87, 83, 80, 73, 67, 56,5, 52, 51, 47, 40, 33,5, 16,5.
Kalkbeet	58,5, 57, 51,5, 50, 49, 35, 33,5, 33, 31,5, 31, 25,5, 24,5, 24, 20, 18, 12,5.

Gewicht der Sandpflanzen 355 g } unmittelbar nach dem Abschneiden.
» » Kalkpflanzen 129 g }

In den Versuchen Roux' machte sich in Boden mit 6 $^0/_0$ Kalk bei *Digitalis purpurea* eine allgemeine Schwäche bemerkbar und in tonigkalkiger Erde gingen die Pflanzen während zweier Monate nach der Keimung ein. Anderseits erhielt sich *Digitalis* auf Boden mit 32 $^0/_0$, hatte aber nur eine Höhe von kaum 2 cm erreicht.

Aus dem Gesagten folgt für *Digitalis*, daß die Pflanze auf kalkreichem Substrat blühen und fruchten kann; aber nur unter sehr günstigen Verhältnissen. Das genügt, um ihr nicht ausschließliches, aber gewöhnliches Fehlen auf dem Kalk in der Natur begreiflich zu machen.

Kulturen von *Calluna vulgaris* wurden nur auf dem Kalk- und Sandbeet ausgeführt. Dorthin brachte ich am 30. April 1907 Pflanzen, die während des Vorjahres aus Samen im Gewächshause herangezogen waren. Der Verlauf des Versuchs ergibt sich aus der folgenden Zusammenstellung, deren Maßangaben sich auf alle vorhandenen Sprosse beziehen; nicht auf die einzelnen Pflanzen, da diese schwer auseinander zu halten waren. Die Pflanzen standen zu je 6—8 Gruppen in 5 Reihen, welche einen Abstand von 20 cm hatten.

Längen 13. Okt. 1907	
Sand	15, 13, 12, 11, 11, 11, 11, 10, 9, 9, 9, 8; fast alle reichlich blühend.
Kalk	8, 7, 7, 5, 5, 5, 5, 5, 4; nur 1 Busch blühend.

Längen 15. Juni 1909	
Sand	27, 21,5, 20,5, 19,5, 17,5, 16,5, 16, 14, 14, 13,5, 13, 13, 10,5, 9,5, 13,5, 9, 8,5, 6.
Kalk	11, 10,5, 10,7, 7, 6,5, 6,5, 6, 5,5, 5, 5, 4,5, 4,5, 4,5, 2,5.

Längen 8. Nov. 1909	Sand 36, 24, 20, 20, 19, 18, 17, 16, 15,5, 15, 14, 14, 14, 14, 13, 12, 11, 9, 2; reichlich blühend. Blätter grün mit wenigen roten Spitzen.
	Kalk 14, 11, 11, 8, 8, 7, 6, 6, 5, 3; 6 Stück blühen spärlich; Blätter blaßgrün, rötlich, namentlich die Spitze.
1911 . . .	Sand 47,5, 43,0, 30,5, 30, 17,5, 15, 14, 13, 11.
	Kalk 23,5, 16, 13, 11, 9.
Längen 21. Juni 1911	Sand 47,5, 43,0, 30,5, 30, 25, 17,5, 15, 14, 13, 11.
	Kalk 23,5, 16, 13, 11, 9.

Wie man sieht, sind die Pflanzen des Kalkbeetes wesentlich zurückgeblieben. In der Natur wären sie längst durch Konkurrenten wie *Sesleria coerulea* oder *Anemone silvestris* unterdrückt worden oder vielleicht vertrocknet.

Anhangsweise sei noch mitgeteilt, daß im Mai 1905 angelegte Kulturen von *Lupinus luteus* sowohl auf dem Sand- wie auf dem Kalkbeet normal sich entwickelten. Am 31. Juli waren indessen die größten Pflanzen auf dem Sandbeet zu finden und eine Wägung der Mitte Oktober geernteten Pflanzen ergab für mittlere Sandpflanzen 750 gr, für mittlere Kalkpflanzen 500 gr.

Bezüglich der Natur der schädlichen Einwirkung des Kalkes auf die Versuchspflanzen läßt sich wohl so viel sagen, daß eine Giftwirkung, wie sie etwa Kupfersalze ausüben, nicht vorliegt. Das folgt aus dem zum Teil hohen Kalkgehalt ihrer Asche. Bei *Sarothamnus* werden 11,74—20,15 %, bei *Calluna vulgaris* 12,97—26,49 %, auf Dolomit sogar 33,48 %, bei *Digitalis purpurea* 10,18—15,60 % angegeben. Der Gesamtaschengehalt der Pflanzen, der sehr wesentlich mit in Betracht gezogen werden muß, betrug bei der kalkreicheren *Digitalis*-Probe 8,27 %; bei *Sarothamnus* mit 25,03 % Kalk in der Asche 2,19 %. Die *Calluna*-Probe vom Dolomit hatte 2,88 %, eine andere 1,96 %, eine dritte, vom Liassandstein, 3,32 % Reinasche. Die Pflanze war also auf dem Dolomit nicht nur relativ, sondern absolut ziemlich reich an Kalk (Wolff, Aschenanalysen, Berlin 1871).

Im Gehölz von Champfetu wächst *Sarothamnus* mit dem in der Natur kalkholden *Cytisus Laburnum* mit 27,15 % Kalkgehalt der Asche, dem kalkfeindlichen *Ulex europaeus* mit 25,97 % Kalk und der indifferenten *Robinia pseudacacia* mit 58,97 % zusammen auf einem Boden mit 0,35 % Kalk und erreicht selbst einen Kalkgehalt der Asche von 25,03 % (Schimper l. c. S. 111). Ferner leidet das Wurzelsystem der kalkscheuen Pflanzen selbst in direkter Berührung mit Kalkkörnchen keine auffällige Schädigung. Anderseits wird allerdings angegeben, daß *Castanea vesca* auf Kalk besser gedeiht, wenn sie auf Eichenwurzeln gepfropft ist. Der sehr beachtenswerte Gedanke, daß kalkfeindliche Pflanzen sich von den kalkholden dadurch unterscheiden möchten, daß sie auf Kalkboden relativ mehr Kalk aufzu-

nehmen pflegten als diese und so zu einem schädlichen Übermaß gelangten, trifft für die Mündener *Sarothamnus*-Exemplare nicht zu. Nach Analysen, die ich Herrn Professor Süchting verdanke, enthielten die Sandpflanzen 0,430 % des Trockengewichts an Kalk, die Kalkpflanzen 0,457 %, also etwa ebensoviel. Auch die Annahme, daß der Kalk die Kaliaufnahme beeinträchtige[1]) trifft für den vorliegenden Fall nicht zu.

Nachstehende Tabelle enthält die Resultate der Analysen von je zwei der auf dem Sandbeet und dem Kalkbeet erwachsenen *Sarothamnus*-Exemplare.

		Aschengehalt der Trockensubstanz	CaO gehalt in % des Trockengewichtes	CaO gehalt der Asche in %	K_2O gehalt der Asche in %	K_2O gehalt in % des Trockengewichtes
Sandpflanzen	1)	2,00 %	0,563	28,14	19,70	0,394
	2)	—	0,430	—	—	0,147
Kalkpflanzen	1)	3,37 %	0,916	27,18	22,00	0,44
	2)	—	0,457	—	—	0,221

Man sieht, daß die beiderlei Pflanzen weder einen besonders hohen Aschengehalt noch ein besonders hohes Kalkprozent in der Asche besaßen. Der Kalkgehalt der Pflanzen in Prozenten des Trockengewichts ist bei den Kalkpflanzen etwas, bei Pflanze 1) sogar wesentlich höher als bei den Kalkpflanzen, der Prozentgehalt der Asche an Kalk aber bei Kalk- und Sandpflanzen annähernd derselbe. Der Kaligehalt der Kalkpflanzen ist absolut, in Prozenten des Trockengewichts genommen, und prozentisch in der Asche bei den Kalkpflanzen keinesfalls niedriger, sondern eher etwas höher als bei den Sandpflanzen.

Um hier weiter zu kommen, müßte man den Verlauf der Kalk- und Kaliaufnahme und auch die Stickstoffgewinnung von dem empfindlichen Jugendstadium ab untersuchen. Es ist wohl möglich, daß in dieser Lebensperiode ein schädlicher Kalküberschuß oder Kalimangel besteht, der später, wenn die Pflanze die kritische Zeit überlebt, wieder ausgeglichen wird. Ramann und Bauer haben in der letzten Zeit an Laub- und Nadelhölzern derartige Untersuchungen angestellt (Jahrb. f. wissenschaftliche Botanik, Bd. 50, 1911). Denkbar ist auch, daß die Phosphor- und Stickstoffversorgung durch den Kalk beeinflußt wird.

Paul findet den Grund der Schädigung kalkfeindlicher Torfmoose durch den Kalk darin, daß der letztere eine an der Oberfläche der Sphagnen vorhandene Säure neutralisiert und dadurch immer neue Säureausscheidung hervorruft, welche die Pflanzen endlich erschöpft. Man sieht, wie vielseitig das Problem ist, und daß die Gründe für das Meiden des Kalk-

1) Vgl. Solms, die leitenden Gesichtspunkte einer allgemeinen Pflanzengeographie. Leipzig. 1905.

bodens durch eine Pflanzenart nicht ohne weiteres auf eine andere übertragen werden dürfen.

Erklärung der Figuren auf Taf. X u. XI.

Fig. 1. *a* auf kalkreicher Erde erwachsene Keimlinge von *Digitalis purpurea*. $^1/_2$ nat. Gr.; *b* auf kalkarmer Erde erwachsene Keimlinge von *Digitalis purpurea*. $^1/_2$ nat. Gr.; *c* mit kalkreicher Erde gewachsene Keimlinge von *Sarothamnus scoparius*; *d* gleich alte Keimlinge derselben Pflanze von kalkreicher Erde. Verkl.

Fig. 2. *Sarothamnus scoparius*. Querschnitt einer etwa fingerstarken, in Kalkboden gewachsenen Wurzel. Die Stärke mit Jodlösung gefärbt. Gez. Maria Büsgen. Fig. 1 u. 2 in demselben Maßstab vergrößert.

Fig. 3. *Sarothamnus scoparius*. Querschnitt einer in Sandboden gewachsenen, fast fingerstarken Wurzel. Die Stärke mit Jodlösung gefärbt. Gez. Maria Büsgen. Fig. 1 u. 2 in demselben Maßstab vergrößert.



Büsgen.

Fruchtende Zweige von *Sarothamnus scoparius:* Der kürzere Zweig mit den größeren Hülsen von einem auf Muschelkalkboden gewachsenen, der andere von einem auf wenig lehmigem, kalkarmem Sand erzogenen Exemplar. Verkleinert.

Verlag von Wilhelm Engelmann in Leipzig und Berlin.

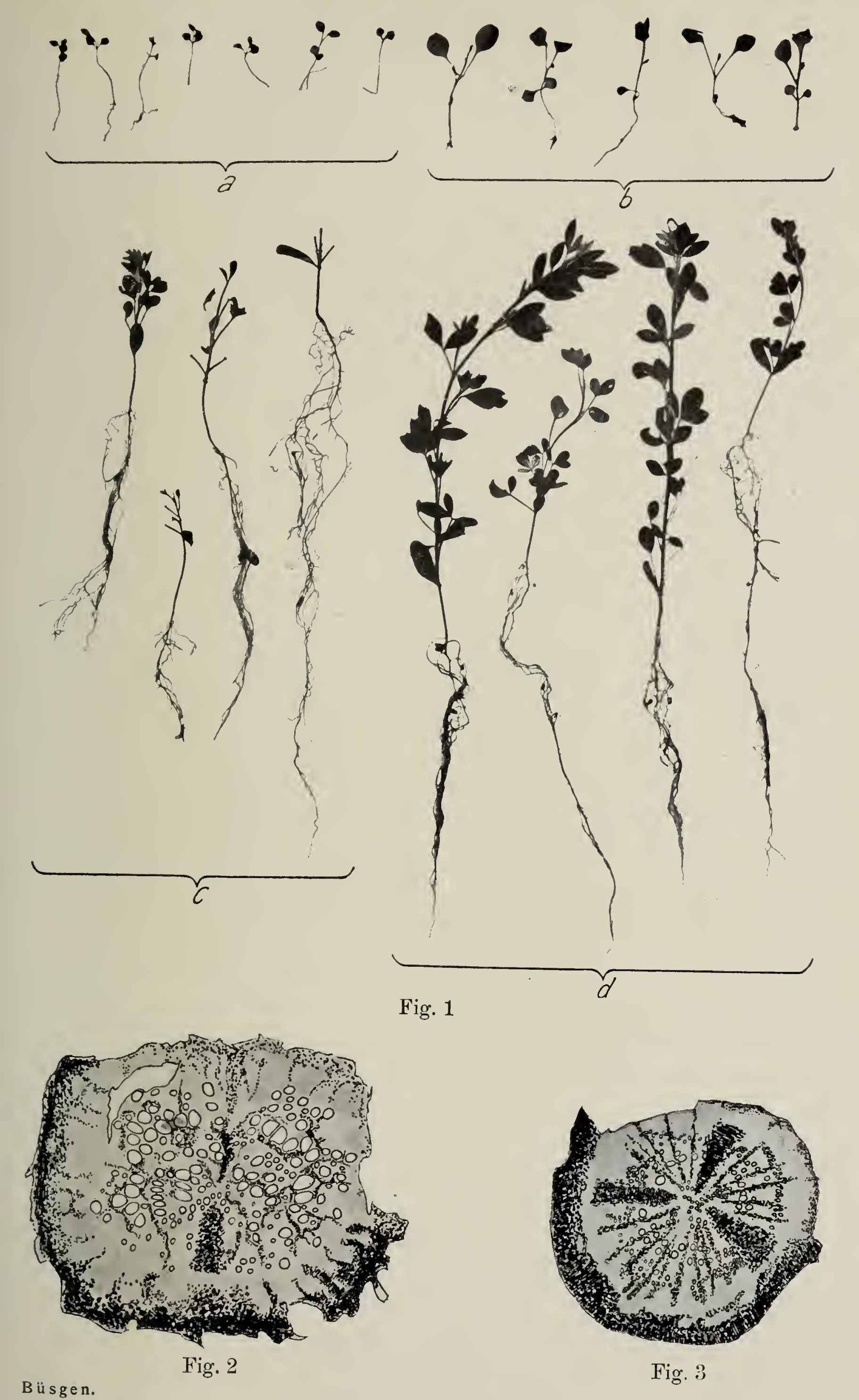


Fig. 1

Fig. 2

Fig. 3

Büsgen.

Verlag von Wilhelm Engelmann in Leipzig und Berlin.